

Verfahren zum Erzeugen von Defekten in einer Gitterstruktur eines  
Halbleitermaterials

- 5 Die folgende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Erzeugen von Defekten in einer Gitterstruktur eines Halbleitermaterials während dessen thermischer Behandlung.

Bei der Behandlung von Halbleitermaterialien ist es bekannt, die  
10 Halbleitermaterialien thermisch zu behandeln, um das Dotierprofil von Fremdatomen innerhalb des Halbleitermaterials zu beeinflussen.

Dabei ist es beispielsweise aus W. Lerch et al.; Mat. Res. Soc. Symp. Proc. (1998), Band 525, Seiten 237-255 und D.F. Downey et al.; Mat. Res. Soc. Symp.  
15 Proc. (1998), Band 525, Seiten 263-271 bekannt, das Dotierprofil von Bor innerhalb eines Halbleitermaterials mittels eines Sauerstoff enthaltenden Prozeßgases bei konstanter thermischer Belastung zu beeinflussen. Das Sauerstoff enthaltende Prozeßgas bewirkt eine Oxidation des Si-Halbleitermaterials, was zu einer Übersättigung von Eigenzwischengitteratomen  
20 (Si-Atome auf Zwischengitterplätzen) führt, deren Konzentration das Diffusionsverhalten des Bors und somit das Dotierprofil beeinflusst.

Allgemein lassen sich durch das oben beschriebene Verfahren im wesentlichen nur solche Dotierprofile beeinflussen, deren Fremdatome im wesentlichen über den  
25 sogenannten Kick-Out-Mechanismus auf einen Gitterplatz gelangen. Bei diesem Mechanismus gelangt das zuvor im Zwischengitterbereich befindliche Fremdatom auf einem Gitterplatz, wobei ein Silizium- (oder allgemein Gitter-) Atom von seinem Gitterplatz in das Zwischengitter verdrängt wird.

30 Es ist ferner bekannt, daß das Dotierprofil von Fremdatomen, welche Gitterdefekte innerhalb eines Halbleitermaterials bilden, durch die Veränderung des Temperaturverlaufs bei einer thermischen Behandlung veränderbar ist, wobei häufig hohe thermische Belastungen innerhalb des Halbleitermaterials erzeugt werden, um gewünschte Profile zu erreichen. Dies birgt jedoch das Risiko der

Beschädigung des Halbleiters durch die thermische Behandlung in sich. Darüber hinaus ist der Energieaufwand für die thermische Behandlung sehr hoch.

5 Ausgehend von diesem oben beschriebenen Stand der Technik liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein neues Verfahren vorzugeben, welches auf einfache und kostengünstige Weise eine genaue Steuerung von Gitterdefekten in einem Halbleitermaterial ermöglicht.

10 Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe gelöst durch ein Verfahren zum Erzeugen von Defekten in einer Gitterstruktur eines Halbleitermaterials während dessen thermischer Behandlung, bei dem die Defektkonzentration und/oder -verteilung in Abhängigkeit von einer Prozeßgasatmosphäre gesteuert wird. Das obige Verfahren ermöglicht eine Steuerung der Defektkonzentration und/oder -verteilung in einer Gitterstruktur eines Halbleitermaterials während dessen thermischer Behandlung,  
15 bei im wesentlichen konstantem thermischen Budget (Integral der Temperatur-Zeit-Kurve). Somit kann bei möglichst minimaler thermischer Belastung die Defektkonzentration und/oder -verteilung in Abhängigkeit von der Prozeßgasatmosphäre gesteuert werden. Die Defektkonzentration und/oder -verteilung beeinflusst wiederum die Konzentration sowie das Diffusionsverhalten von Fremdatomen innerhalb des Halbleitermaterials.  
20

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind die erzeugten Defekte Gitterfehlstellen (Leerstellen). Durch die Erzeugung von Gitterfehlstellen können Fremdatome unabhängig von dem oben genannten Kick-Out-Mechanismus  
25 auf Gitterplätze gelangen. Dies ist insbesondere bei größeren Fremdatomen wie Arsen oder Antimon vorteilhaft, welche im wesentlichen nur durch Auffüllen von Gitterfehlstellen (Leerstellen) auf Gitterplätze des Halbleiters gelangen.

Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung sind die Defekte Halbleiteratome  
30 auf Zwischengitterplätzen, welche wiederum einen anderen Mechanismus fördern, mittels dem die Fremdatome auf Gitterplätze gelangen.

Vorteilhafterweise werden die Defekte im Bereich der Halbleiteroberfläche mit einer Tiefe von 0 bis ca. 1000 Angström erzeugt. Die Defekte liegen somit auch im

Bereich implantierter Fremdatome wodurch die Verteilung und Konzentration der Fremdatome erheblich beeinflusst wird.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird die Zusammensetzung des Prozeßgases gesteuert. Über die Zusammensetzung des Prozeßgases, welches aus einem Gemisch mehrerer Gase bestehen kann, läßt sich auf besonders einfache, genaue und effektive Weise die Defektkonzentration und/oder -verteilung steuern. Vorzugsweise wird die Konzentration des Prozeßgases oder der Prozeßgaskomponente innerhalb eines inerten Gases, welches als Trägergas fungiert, gesteuert.

Vorzugsweise wird der Partialdruck des Prozeßgases gesteuert.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist das Prozeßgas ein Stickstoff enthaltendes Gas, welches bevorzugte Gitterfehlstellen (Leerstellen) erzeugt, die wesentlich das Dotierprofil von Fremdatomen beeinflusst. Dabei weist das Prozeßgas vorzugsweise  $\text{NH}_3$  oder  $\text{N}_2$  auf. Das Stickstoff enthaltende Gas führt zu einer Leerstelleninjektion über die Gleichgewichtskonzentration.

Vorteilhafterweise weist das Prozeßgas keinen Sauerstoff auf, insbesondere keinen freien Sauerstoff, der zu einer Oxidierung des Halbleitermaterials führen würde, und die Erzeugung von Fehlstellen (Leerstellen) nachteilig beeinträchtigen könnte.  $\text{O}_2$  führt zu einer Eigenzwischengitteratominjektion über die Gleichgewichtskonzentration bei der Prozeßtemperatur.

Bei einer alternativen Ausführungsform hingegen, weist das Prozeßgas eine Sauerstoff enthaltende Komponente auf, die zu einer Erhöhung der Defektkonzentration (Eigenzwischengitteratome) führen kann. Dabei weist die Sauerstoff enthaltende Komponente vorzugsweise  $\text{N}_2\text{O}$  auf.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird der zeitliche Temperaturverlauf der thermischen Behandlung gesteuert und vorzugsweise die thermische Belastung des Halbleitermaterials auf ein Minimum reduziert.

Ferner kann über die Steuerung des zeitlichen Temperaturverlaufs der thermischen Behandlung das Diffusionsverhalten der Defekte sowie implantierter Fremdatome gesteuert werden. Hierüber kann insbesondere die Eindringtiefe der  
5 Gitterfehlstellen, Leerstellen und/oder Eigenzwischengitteratome sowie der Fremdatome und somit die räumliche Verteilung derselben innerhalb des Halbleitermaterials beeinflusst werden.

Vorzugsweise enthält die Prozeßgasatmosphäre Argon, welches als inertes  
10 Trägergas fungiert.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird eine  $\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$ -Schicht auf der Oberfläche des Halbleiters erzeugt. Vorzugsweise liegt die Dicke der Schicht zwischen 0 und 20 Angström.

15

Bei einer alternativen Ausführungsform der Erfindung wird von der thermischen Behandlung vorzugsweise eine natürliche  $\text{Si}_2\text{O}$ -Schicht von der Halbleiteroberfläche entfernt, um eine oxidfreie Oberflächenschicht erzeugen zu können. Während der thermischen Behandlung wird dann vorzugsweise ein  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -  
20 Schicht auf dem Halbleiterwafer mit einer Dicke zwischen 0 und ungefähr 40 Angström erzeugt.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung liegt die  $\text{NH}_3$ -Konzentration zwischen ungefähr 500 bis 10000ppm. Vorzugsweise liegt die  $\text{NH}_3$ -  
25 Konzentration zwischen 2500 bis 5000 ppm.

Um Beschädigungen des Wafers zu vermeiden, wird die thermische Belastung des Halbleiterwafers während der thermischen Behandlung vorzugsweise auf ein Minimum reduziert. Vorteilhaft lassen sich bei dieser geringen thermischen  
30 Belastung die Defekte über die Prozeßgasatmosphäre steuern.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird über die Konzentration und/oder Verteilung der Defekte eine Konzentration und/oder Verteilung von Fremdatomen innerhalb des Halbleitermaterials gesteuert.

Vorzugsweise sind die Fremdatome aus der folgenden Gruppe ausgewählt: Bor, Phosphor, As, Sb und In, wobei auch Kombination möglich sind.

Bei einer Ausführungsform der Erfindung wird das obige Verfahren vorzugsweise an einem dotiertem Halbleiter durchgeführt, wodurch bei der thermischen Behandlung gleichzeitig die Konzentration und/oder -verteilung der Fremdatome durch die Defektkonzentration und/oder -verteilung, d. h. Leerstellen und/oder Eigenzwischengitteratome gesteuert wird.

Bei einer alternativen Ausführungsform der Erfindung wird das Verfahren an einem undotierten Halbleiter durchgeführt. Hierdurch läßt sich das Halbleitermaterial für eine anschließend, gezielte Dotierung des Halbleitermaterials vorbereiten, was einen unmittelbaren Einfluß auf die nachfolgende Behandlungsprozesse des Halbleiters hat.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele der Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert; es zeigen:

Figur 1 die Dicke einer Oxy-Nitrid-Schicht als Funktion der  $\text{NH}_3$ -Konzentration in einer Argon-Atmosphäre für einen mit natürlichem Oxyd bedeckten Si-Wafer;

Figur 2 schematisch die prozentual in einem dotierten Siliziumhalbleiter verbleibende Menge an Fremdatomen in Abhängigkeit von der  $\text{NH}_3$ -Konzentration für eine vorgegebene Temperatur-Zeit-Prozeßführung in einem RTP-System, sowie die Abhängigkeit des Schichtwiderstandes des Halbleiters in Abhängigkeit von der  $\text{NH}_3$ -Konzentration;

Figur 3 die Arsenverteilung in einem mit Arsen implantierten Siliziumhalbleitermaterial für verschiedene  $\text{NH}_3$ -Konzentrationen in einem inerten Gas, in Abhängigkeit von der Eindringtiefe derselben von der Waferoberfläche, für einen vorgegebenen Verlauf der Temperatur-Zeit-Führung der thermischen Behandlung;

Figur 4 den Schichtwiderstand eines Halbleiters nach einer thermischen Behandlung mit vorgegebenen Temperatur-Zeit-Führungen, in Abhängigkeit von einer  $\text{NH}_3$ -Konzentration in Argon;

Figur 5 die Konzentration von Arsenatomen in einem Siliziumhalbleiterwafer in Abhängigkeit von der Eindringtiefe von der Substratoberfläche für verschiedene Prozeßgaszusammensetzungen, bei gleichen Temperatur-Zeit-Führungen.

Figur 1 zeigt die Dicke einer Oxy-Nitrid-Schicht als Funktion der  $\text{NH}_3$ -Konzentration in einer Argonatmosphäre für eine mit einem natürlichen Oxid bedeckten Siliziumhalbleiterwafer, der einer thermischen Behandlung von z. B.  $1000^\circ\text{C}$  für 10 Sekunden unterzogen wird. Bei der, der Figur 1 zugrundeliegenden thermischen Behandlung wurde Argon als inertes Trägergas für die  $\text{NH}_3$ -Komponente eingesetzt. Die thermische Behandlung umfaßt das Aufheizen des Halbleiterwafers auf z.B.  $1100^\circ\text{C}$  für 10 Sekunden. Die Oxy-Nitrid-Schicht wird dabei während der thermischen Behandlung aufgebaut. Eine Nitridschicht wird bei kleineren oder auch größeren Temperaturen gebildet, und auch die Prozeßzeit ist nicht festgelegt.

Wie Figur 1 zu entnehmen ist, ist die  $\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$ -Schicht nach der thermischen Behandlung bei sehr kleinen  $\text{NH}_3$ -Konzentrationen (im Bereich von 0 bis 1ppm) oder unter Vakuumverhältnissen (z.B.  $10^{-6}$  torr) kleiner als die ursprüngliche, natürliche Oxidschicht-Dicke, die wie aus Figur 1 ersichtlich ist, etwa 13 Angström beträgt. Dies ist darauf zurückzuführen, daß bei diesen  $\text{NH}_3$ -Konzentrationen, abhängig von der Temperatur und möglichen Gasverunreinigungen (z. B.  $\text{O}_2$ ), ein "Ätzen" des Si-Wafers stattfindet. Dies muß aber nicht notwendigerweise auftreten.

Bei zunehmender  $\text{NH}_3$ -Konzentration (aber gleichbleibender thermischer Behandlung) wächst die  $\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$ -Schicht an und erreicht im reinen  $\text{NH}_3$  bei mit ca. 20 Angström ein Maximum. Dabei ist zu beachten, daß die maximale Schichtdicke wesentlich von der Prozeßführung, d.h. von dem Temperatur-Zeit-Verlauf des Prozesses abhängt.

Für thermische Behandlungen mit Temperaturen unter ca.  $1000^\circ\text{C}$  läßt sich anstelle von Argon  $\text{N}_2$  als Inertgas verwendet, da aufgrund der hohen Bindungsenergie von  $\text{N}_2$  unterhalb von  $1000^\circ\text{C}$  keine oder nur eine geringe Nitridierung auftritt. Bei Temperaturen oberhalb von  $1000^\circ\text{C}$  kann auch  $\text{N}_2$  als

nitridierende Komponente in einem Prozeßgas, zum Beispiel zusammen mit Argon oder auch  $\text{NH}_3$  verwendet werden.

Bei dem der Figur 1 zugrundeliegenden Verfahren wurde ein Halbleiterwafer mit einer natürlichen Siliziumoxidschicht behandelt. Alternativ kann vor der Behandlung jedoch auch das natürliche Siliziumoxid von dem Wafer entfernt werden, z.B. durch Naßätzen, VPC (vapour phase cleaning) oder andere bekannte Verfahren, so daß bei der anschließenden thermischen Behandlung im wesentlichen eine  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -Schicht gebildet wird. Die hierbei erreichbaren  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -Schichtdicken liegen in einem Bereich von ca. 0 bis 40 Angström, wobei die Schichtdicke sowohl von der Konzentration und der Zusammensetzung des stickstoffhaltigen Prozeßgases als auch von der Temperatur-Zeit-Führung der thermischen Behandlung abhängt.

Figur 2 zeigt schematisch die in einem dotierten Siliziumhalbleiter verbleibende Menge  $R_D$  an Fremdatomen, sowie den Schichtwiderstand  $R_s$  in Abhängigkeit von der  $\text{NH}_3$ -Konzentration nach einer thermischen Behandlung mit vorgegebener Temperatur-Zeit-Prozeßführung.

Figur 2 zeigt schematisch die im Halbleiter (Silizium) verbleibende Menge an Fremdatomen  $R_D$  (retained dose) in Abhängigkeit von der  $\text{NH}_3$ -Konzentration (oder allgemein der Konzentration einer Stickstoff enthaltenen Prozessgaskomponente) für eine bestimmte Temperatur-Zeit-Prozessführung in einem RTP-System. Es zeigt sich deutlich, daß in reinem Inertgas ein großer Teil der Fremdatome den Halbleiter durch Diffusion verlassen. Dadurch stellt sich eine Verarmung an Fremdatomen im Halbleiter ein. Diese Verarmung führt nachteilig zu einer Erhöhung des Schichtwiderstandes  $R_s$  und unter Umständen zu einer Unbrauchbarkeit des gesamten Halbleiters (Wafers). Durch Zugabe von einem oder mehreren stickstoffhaltigen Prozessgaskomponenten erfolgt an der Halbleiteroberfläche eine Nitridierung, die als Diffusionsbarriere für die Fremdatome wirkt. Mit zunehmender Konzentration der stickstoffhaltigen Prozessgaskomponente (oder Komponenten) wird die "Ausdiffusion" der Fremdatome unterdrückt.

Bei einer höheren  $\text{NH}_3$ -Konzentration steigt die Menge an verbleibenden Fremdatomen innerhalb des Halbleiterwafers an und erreicht bei einer Konzentration von ungefähr 2500 ppm nahezu ein Maximum. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die stickstoffhaltige Prozeßgaskomponente an der Halbleiter-

5 oberfläche ein Nitritdierung bewirkt, die als Diffusionsbarriere für die Fremdatome wirkt.

Beispielsweise läßt sich bei einer Konzentration von ca. 2500 bis 10000 ppm  $\text{NH}_3$  in einem inerten Gas, wie zum Beispiel Argon, bei einem Temperatur-Zeit-Prozeß von 900 ° C bis 1150 °C mit einer Dauer von z. B. 10 Sekunden, das

10 "Ausdiffundieren" von Fremdatomen in einem dotierten Halbleiterwafer (wie von Arsen oder Antimon) in Silizium fast vollständig unterdrücken. Dies wird durch eine  $\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$ - oder  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -Schicht mit einer Dicke von 10 bis 16 Angström erreicht (siehe Figur 1). Dies ist insbesondere bei sehr dünnen pn-Übergängen von großem

15 Vorteil, da hier ein "Ausdiffundieren" von Fremdatomen zu undefinierten pn-Übergängen mit undefiniert hohen Schichtwiderständen führen würde.

Figur 3 zeigt beispielhaft die Arsenverteilung von mit Arsen implantierten Siliziumhalbleitern nach einer vorgegebenen thermischen Behandlung mit

20 gleichbleibendem thermischen Budget für verschiedene  $\text{NH}_3$ -Konzentrationen in Argon, in Abhängigkeit von der Eindringtiefe von der Waferoberfläche. Dabei wurde jeweils von gleichen Ausgangsbedingungen ausgegangen.

Die Verteilung für 0 ppm  $\text{NH}_3$ , d. h. im Falle der Prozeßführung in reinem Argon oder Inertgas, weist im Vergleich zu den anderen Verteilungen eine erhebliche Verarmung an Fremdatomen auf. Dies ist durch die oben in Verbindung mit Figur 2 beschriebenen "Ausdiffusion" der Arsen-(Fremd-)atome bedingt. Eine derartige Verarmung an Fremdatomen führt zu einer erheblichen Erhöhung des Schichtwiderstandes, wie dies in Figur 4 dargestellt ist. Dort ist der

25 Schichtwiderstand des Halbleiters als Funktion der  $\text{NH}_3$ -Konzentration für verschiedene Temperaturen bei einer Prozeßzeit von jeweils 10 Sekunden dargestellt. Wie aus dieser Abbildung ersichtlich ist zeigt der Schichtwiderstand ein Sättigungsverhalten hin zu kleinen Widerständen bei etwa 10000 ppm  $\text{NH}_3$ , wobei sein absoluter Wert wesentlich von der Temperatur-Zeit-Prozeßführung mitbestimmt

30



wird. Je höher die Temperatur gewählt wird, je kleiner wird der Schichtwiderstand. Dabei wird vorteilhaft das thermische Budget minimiert, d. h., die Wafer werden mit möglichst hoher Temperatur prozessiert, um die Prozessdauer möglichst kurz zu halten. Typische Prozesstemperaturen liegen zwischen 800°C und 1200°C, typische Zeiten zwischen ca. 0.5 s und 360 s.

Figur 3 zeigt, daß bei einer Behandlung des dotierten Siliziumhalbleiters in reinem Argon, die Konzentration, sowie die Eindringtiefe des Arsens am geringsten ist, wodurch sich ein hoher  $R_S$ -Wert ergibt. Bei steigender  $NH_3$ -Konzentration ergibt sich sowohl eine erhöhte Arsen-Konzentration sowie eine erhöhte Eindringtiefe der Arsenatome im Halbleiterwafer.

Figur 3 zeigt, daß allein durch die Wahl der Konzentration wenigstens einer stickstoffenthaltenden Prozeßgaskomponente bei einem vorgegebenen Temperatur-Zeit-Prozeß die Verteilung der Fremdatome und die Eindringtiefe der Fremdatome eingestellt werden kann. Dabei ergibt sich die Möglichkeit, bei minimaler noch tolerierbarer thermischer Belastung des Halbleiters, die Fremdatomverteilung in weiten Bereichen allein über die Prozeßgaszusammensetzung einzustellen. Dabei läßt sich der Schichtwiderstand bis zu einem Faktor von ungefähr 10 variieren, und in gleicher Weise kann die Eindringtiefe der Fremdatome etwa um einen Faktor 2 variiert werden.

Figur 4 zeigt den Schichtwiderstand eines mit Arsen implantierten Siliziumhalbleiterwafers in Abhängigkeit von der  $NH_3$ -Konzentration in einem ArgonTränergas, für verschiedene Temperaturen der thermischen Behandlung bei einer jeweiligen Prozeßzeit von 10 Sekunden. Es ist zu erkennen, daß der Schichtwiderstand bei höheren  $NH_3$ -Konzentrationen verringert wird. Dabei tritt bei einer Konzentration ab ca. 2500-5000 ppm  $NH_3$  eine Sättigung bzw. ein unterer Grenzwert des Schichtwiderstandes zu kleinen Schichtwiderständen auf, der sich auch mit weiter steigenden  $NH_3$ -Konzentrationen nicht weiter verringert. Der Wert des Schichtwiderstandes wird ebenfalls wesentlich von der Temperatur-Zeit-Prozeßführung mitbestimmt. Dabei ist zu erkennen, daß bei höheren Temperaturen der Schichtwiderstand kleiner wird. Typische Prozeßtemperaturen liegen zwischen 800°C und 1200°C typische Steady state Zeiten zwischen 0.5 s bis 360 s. Um Beschädigungen des

Halbleitermaterials zu verhindern sollte jedoch das thermische Budget minimiert werden, dabei sollten die Prozeßzeiten vorzugsweise unter 60 Sekunden liegen und die Temperaturen sollten zwischen 950°C und 1150°C liegen. Bei sehr dünnen pn-Übergängen werden dabei sogenannte Flash-Prozesse verwendet, die durch  
5 sehr hohe Temperaturanstiegsraten, zwischen 100°C pro Sekunde und 500°C pro Sekunde sowie ein rasches Abkühlen, zwischen ca. 25°C pro Sekunde bis 150°C pro Sekunde, definiert sind. Bei diesen Prozessen wird die Maximaltemperatur häufig für weniger als 5 Sekunden beibehalten. Oft wird sogar direkt von der Auf-  
10 heizphase in eine Abkühlphase übergegangen, wodurch sehr kleine thermische Budgets erreichbar sind. Allerdings müssen in sehr kurzer Zeit sehr hohe Temperaturen erreicht werden. Dies ist augenblicklich nur mit modernsten Anlagen wie z. B. der AST 3000 von der RTP Systems GmbH erzielbar, da nur dort die Leistung für  
derart hohe Rampraten kontrolliert zur Verfügung steht, so daß noch ein homogenes Heizen des Halbleitersubstrates möglich ist.

15 Figur 5 zeigt wiederum die Konzentration von Arsenatomen in einem dotierten Si-Halbleiterwafer in Abhängigkeit von der Eindringtiefe von der Substratoberfläche für verschiedene Prozeßgaszusammensetzungen, bei gleichbleibenden Temperatur-Zeit-Prozessen. Bei dem der Figur 5 zugrunde liegenden Verfahren, wurde  
20 neben NH<sub>3</sub> in einer Argonatmosphäre zusätzlich eine sauerstoffenthaltende Komponente, nämlich N<sub>2</sub>O verwendet.

Figur 5 zeigt daß die Zugabe von N<sub>2</sub>O die Arsenkonzentration steigert. Hierdurch läßt sich auch der Schichtwiderstand weiter verringern. Darüber hinaus zeigt Figur  
25 5, daß durch die Zugabe von einer ausreichenden Menge N<sub>2</sub>O die Eindringtiefe der Arsenatome reduziert wird, was insbesondere bei dünnen pn-Übergängen zweckmäßig ist. Durch Zugabe von sauerstoffhaltigem Gas läßt sich die Arsenkonzentration abhängig von der Konzentration des stickstoffenthaltenden Gases um bis zu  
etwa dem 20fachen steigern, wobei die Eindringtiefe der Fremdatome nur unwesentlich vergrößert wird, und sich gegebenenfalls reduzieren läßt. Hierdurch kann  
30 die Arsenverteilung an ein gewünschtes Kastenprofil mit steil abfallender Flanke angenähert werden. Durch die Erzeugung von Eigendefekten (Leerstellen, Eigenzwischengitteratome) an der Oberfläche können vorgegebene Dotierstoffprofile (elektrisch inaktiv) in elektrisch aktive Dotierstoffprofile umgewandelt werden, bei

einer Minimalisierung der Eindringtiefe und einer maximalen Konzentration (sog. Kastenprofile).

Allgemein kann man sagen, daß über sauerstoff- un/oder stickstoffhaltige gase, unabhängig davon, ob der Wafer extrinisch dotiert ist (Implatation, GPD, Diffusion durch Ausdiffusion aus einer auf dem Halbleiter befindlichen Schicht in den Halbleiter) oder undotiert ist, die Defektkonzentration (Eigenzwischengitteratome/Leerstellen) beliebig eingestellt werden kann, und zwar auch unter dem Einfluß der thermischen Behandlung.

Die Erfindung wurde zuvor anhand bestimmter Ausführungsbeispiele beschrieben, ohne jedoch auf diese speziellen Beispiele beschränkt zu sein. Insbesondere ist es für die Durchführung des Verfahrens nicht notwendig, daß die Prozeßgasatmosphäre ein inertes Trägergas beinhaltet. Vielmehr könnte das Verfahren unter Unterdruckbedingungen durchgeführt werden, wobei die Prozeßgaskonzentration über den Druck regelbar ist. Ferner ist die Erfindung nicht auf die Verwendung von  $\text{NH}_3$  oder  $\text{N}_2\text{O}$  als Prozeßgaskomponenten beschränkt. Weitere Beispiele für Prozeßgaskombinationen sind z. B.  $\text{NO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  (Wasserdampf). Bei der Verwendung von  $\text{H}_2\text{O}$  kann das thermische Budget noch weiter reduziert werden und es kommt zu weniger OED (oxidation enhanced diffusion). Auch ist das Verfahren bei nicht dotierten Halbleitern einsetzbar, um diese für eine nachfolgende Behandlung wie zum Beispiel eine Dotierung vorzubereiten.

Ein weiteres Anwendungsbeispiel für das erfindungsgemäße Verfahren ist auch die Anwendung auf Bor und/oder Phosphor und/oder Antimon und/oder Indium (oder allgemeine Akzeptoren/Donatoren) um mit sauerstoffhaltigen und oder stickstoffhaltigen Gasen das Diffusionsverhalten (Profil) zu beeinflussen und z. B. Kastenprofile einzustellen.

Patentansprüche

- 5 1. Verfahren zum Erzeugen von Defekten in einer Gitterstruktur eines Halbleitersmaterials während dessen thermischer Behandlung, bei dem die Defekt- bzw. Fehlstellenkonzentration und/oder -verteilung in Abhängigkeit von einer Prozeßgasatmosphäre gesteuert wird.
- 10 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Defekte Gitterfehlstellen (Leerstellen) sind.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Defekte Halbleiter- Substratatome auf Zwischengitterplätzen  
15 (Eigenzwischengitteratome) sind.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Zusammensetzung des Prozeßgases gesteuert wird.
- 20 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Konzentration des Prozeßgases oder der Prozeßgaskomponenten gesteuert wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch  
25 gekennzeichnet, daß der Partialdruck des Prozeßgases gesteuert wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Prozeßgas ein Stickstoff enthaltendes Gas aufweist.
- 30 8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Prozeßgas  $\text{NH}_3$  aufweist.
9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Prozeßgas  $\text{N}_2$  aufweist.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Prozeßgas keinen Sauerstoff enthält.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Prozeßgas eine Sauerstoff enthaltende Komponente aufweist.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Sauerstoff enthaltende Komponente  $N_2O$ ,  $NO$  und/oder  $H_2O$  aufweist.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der zeitliche Temperaturverlauf der thermischen Behandlung gesteuert wird.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Prozeßgasatmosphäre Argon enthält.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine  $Si_xO_yN_z$ -Schicht auf der Oberfläche des Halbleiters erzeugt wird.

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Dicke der Schicht 0 bis 20 Angström beträgt.

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß vor der thermischen Behandlung eine natürliche  $SiO_2$ -Schicht von der Halbleiteroberfläche entfernt wird.

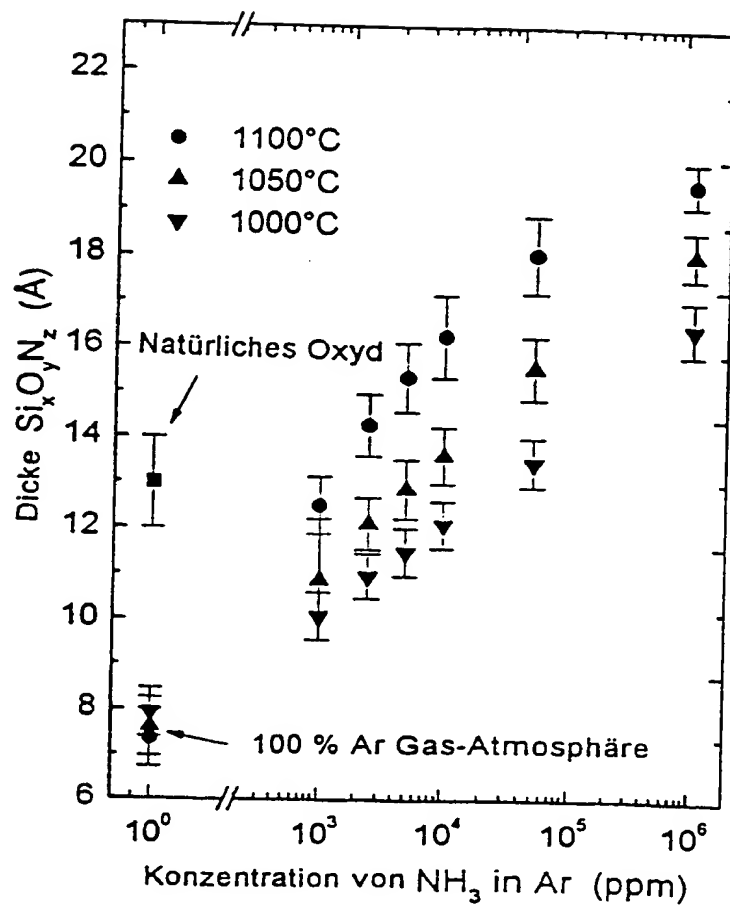
18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß eine  $Si_3N_4$ -Schicht auf dem Halbleiterwafer mit einer Dicke zwischen 0 und 40 Angström erzeugt wird.

19. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die  $NH_3$ -Konzentration 0 bis 10000 ppm beträgt.

20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die  $\text{NH}_3$ -Konzentration 2500 bis 5000 ppm beträgt.
- 5 21. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die thermische Belastung des Halbleiterwafers auf ein Minimum reduziert wird.
- 10 22. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß über die Verteilung der Defekte eine Verteilung von Fremdatomen innerhalb des Halbleitermaterials gesteuert wird.
- 15 23. Verfahren nach Anspruch 22 dadurch gekennzeichnet, daß die Fremdatome wenigstens ein Element der folgenden Gruppe Bor, Phosphor, As, Sb und In aufweisen.
24. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, daß das Verfahren an einem fremd dotierten Halbleiter durchgeführt wird.
- 20 25. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren an einem zu dotierenden Halbleiter durchgeführt wird.
- 25 26. Verfahren nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß der Halbleiter dotiert wird.
27. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, d.g.d. der Halbleiter mittels Gasphasendotierung, Implanatation und/oder Diffusion durch Ausdiffusion aus einer den Halbleiter kontaktierenden Schicht in den Halbleiter dotiert wird.

1/5

Fig. 1

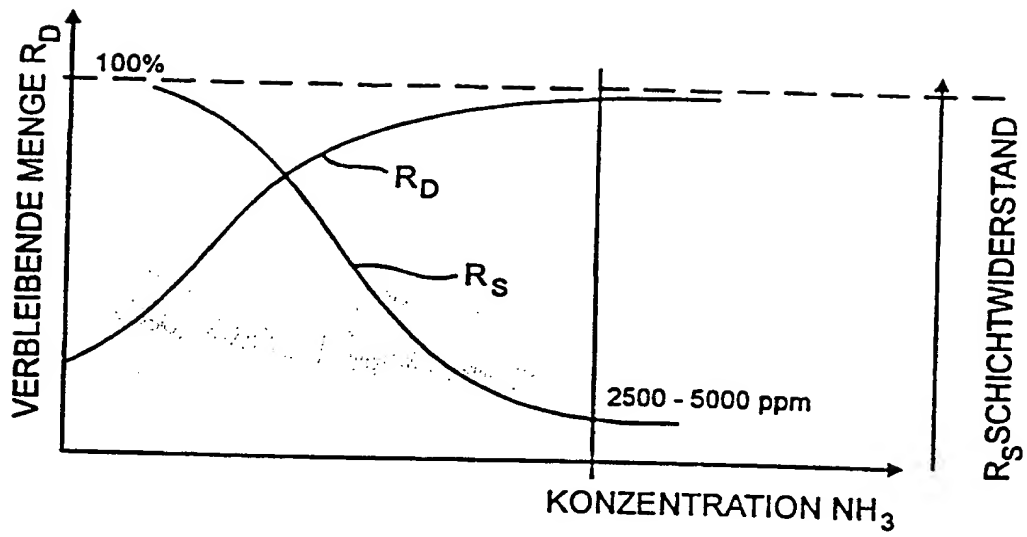


**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



2/5

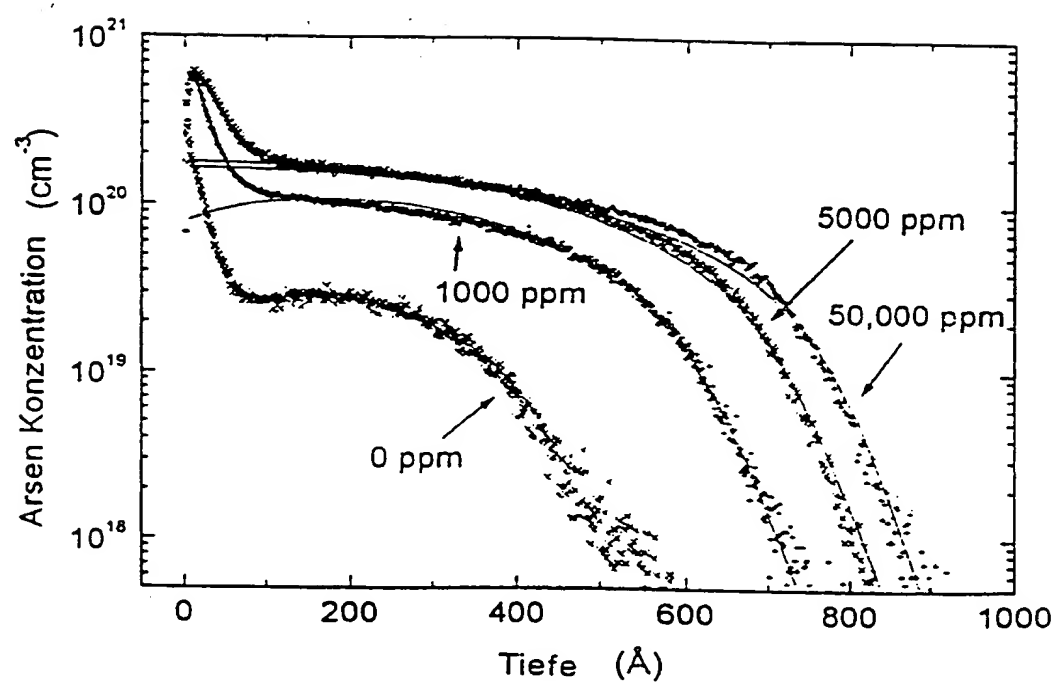
Fig. 2



THIS PAGE BLANK (USPTO)

3/5

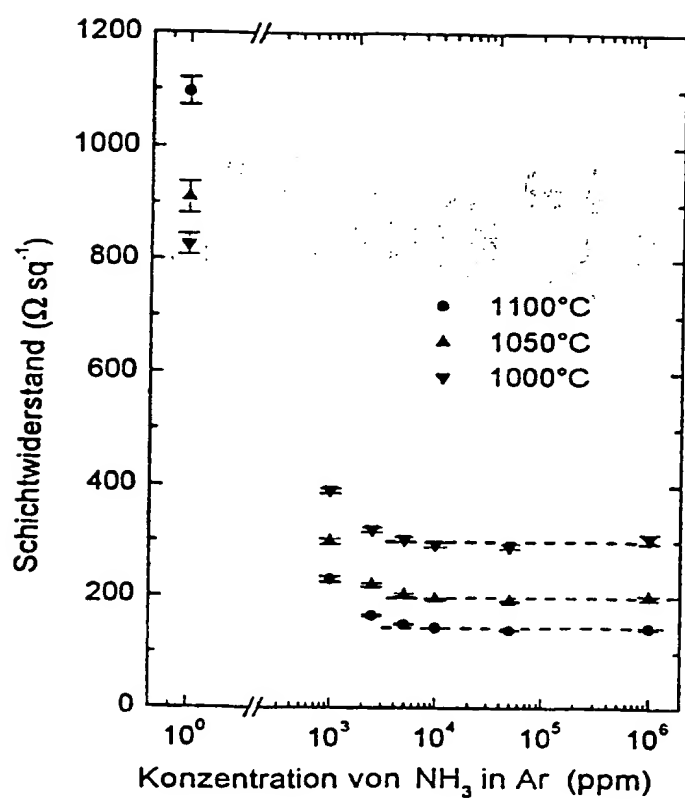
Fig. 3



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

4/5

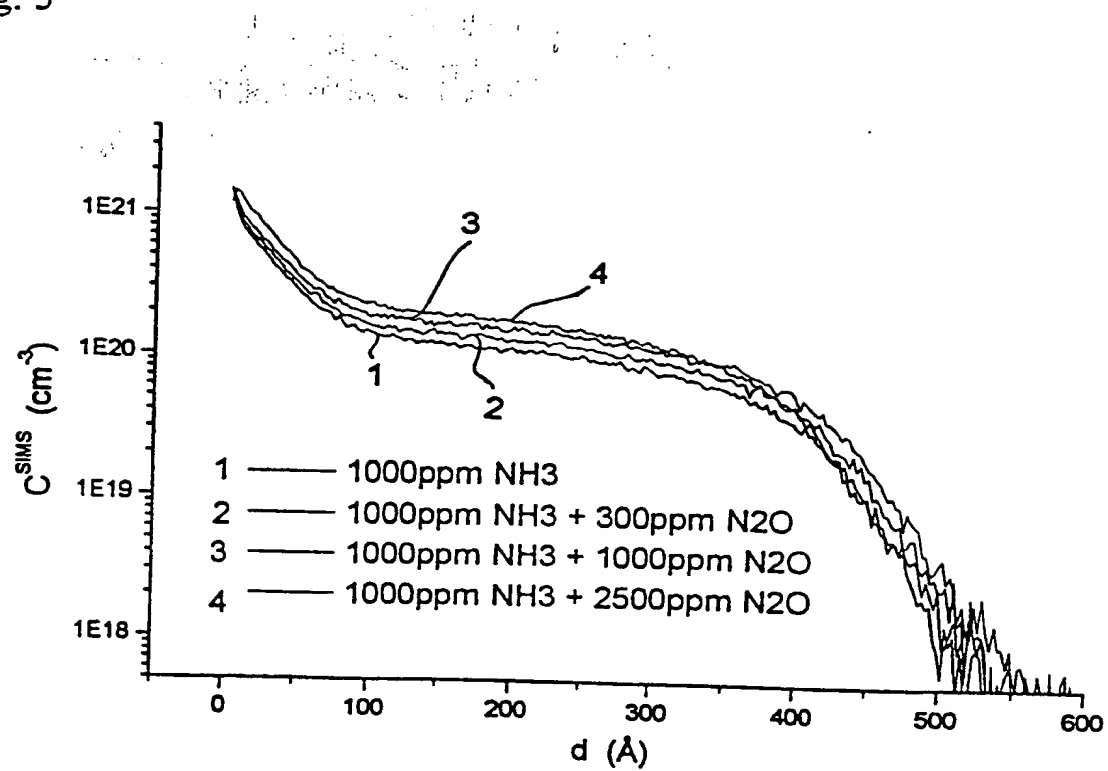
Fig. 4



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

5/5

Fig. 5



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Intern 1ales Aktenzeichen

PCT/EP 00/03664

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 H01L21/265

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, INSPEC, IBM-TDB

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DOWNEY D F ET AL: "Rapid thermal process requirements for the annealing of ultra-shallow junctions" MATERIALS RESEARCH SOCIETY SYMPOSIUM PROCEEDINGS, 1. April 1997 (1997-04-01), XP002101565 das ganze Dokument	1-17, 21-27
X	WO 99 01895 A (STEAG AST ELEKTRONIK GMBH) 14. Januar 1999 (1999-01-14) Seite 5, Zeile 23 -Seite 7, Zeile 24 Seite 8, Zeile 9 -Seite 10, Zeile 25 --- -/--	1-21

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*&\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

18. Dezember 2000

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

27/12/2000

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Nesso, S

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Intern iales Aktenzeichen

PCT/EP 00/03664

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	<p>LERCH, W. ET AL.: "Simulation of rapid thermal annealed Boron Ultra-shallow junctions in inert and oxidizing ambient"</p> <p>MATERIALS RESEARCH SOCIETY - SYMPOSIUM PROCEEDINGS - RAPID THERMAL AND INTEGRATED PROCESSING VII,</p> <p>1998, Seiten 237-255, XP000669354</p> <p>in der Anmeldung erwähnt</p> <p>Seite 237 -Seite 239</p> <p>Seite 243, Zeile 6 -Seite 251</p> <p>---</p>	<p>1-7,</p> <p>9-11,13,</p> <p>17,21-27</p>
X	<p>DOWNEY, D. F. ET AL.: "The effects of small concentrations of oxygen in RTP annealing of low energy Boron, BF2 and Arsenic ion implants"</p> <p>MATERIALS RESEARCH SOCIETY - SYMPOSIUM PROCEEDINGS - RAPID THERMAL AND INTEGRATED PROCESSING,</p> <p>1998, Seiten 263-271, XP000974859</p> <p>in der Anmeldung erwähnt</p> <p>das ganze Dokument</p> <p>---</p>	<p>1-7,</p> <p>9-11,13,</p> <p>17,21-27</p>
P,X	<p>WO 99 39381 A (VARIAN ASSOCIATES)</p> <p>5. August 1999 (1999-08-05)</p> <p>das ganze Dokument</p> <p>-----</p>	<p>1-7,</p> <p>9-11,</p> <p>13-16,</p> <p>21-27</p>

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern 1al Application No

PCT/EP 00/03664

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 H01L21/265

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, INSPEC, IBM-TDB

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>DOWNEY D F ET AL: "Rapid thermal process requirements for the annealing of ultra-shallow junctions"</p> <p>MATERIALS RESEARCH SOCIETY SYMPOSIUM PROCEEDINGS,</p> <p>1 April 1997 (1997-04-01), XP002101565</p> <p>the whole document</p>	<p>1-17,</p> <p>21-27</p>
X	<p>WO 99 01895 A (STEAG AST ELEKTRONIK GMBH)</p> <p>14 January 1999 (1999-01-14)</p> <p>page 5, line 23 -page 7, line 24</p> <p>page 8, line 9 -page 10, line 25</p> <p style="text-align: center;">-/--</p>	<p>1-21</p>

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

\*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

\*E\* earlier document but published on or after the international filing date

\*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

\*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

\*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*Z\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 December 2000

Date of mailing of the international search report

27/12/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Nesso, S

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern al Application No

PCT/EP 00/03664

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>LERCH, W. ET AL.: "Simulation of rapid thermal annealed Boron Ultra-shallow junctions in inert and oxidizing ambient" MATERIALS RESEARCH SOCIETY - SYMPOSIUM PROCEEDINGS - RAPID THERMAL AND INTEGRATED PROCESSING VII,  1998, pages 237-255, XP000669354  cited in the application  page 237 -page 239  page 243, line 6 -page 251</p>	<p>1-7,  9-11,13,  17,21-27</p>
X	<p>DOWNEY, D. F. ET AL.: "The effects of small concentrations of oxygen in RTP annealing of low energy Boron, BF2 and Arsenic ion implants" MATERIALS RESEARCH SOCIETY - SYMPOSIUM PROCEEDINGS - RAPID THERMAL AND INTEGRATED PROCESSING,  1998, pages 263-271, XP000974859  cited in the application  the whole document</p>	<p>1-7,  9-11,13,  17,21-27</p>
P,X	<p>WO 99 39381 A (VARIAN ASSOCIATES)  5 August 1999 (1999-08-05)</p> <p>the whole document</p>	<p>1-7,  9-11,  13-16,  21-27</p>

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 00/03664

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9901895 A	14-01-1999	US 6100149 A EP 1018148 A JP 2000513508 T	08-08-2000 12-07-2000 10-10-2000
WO 9939381 A	05-08-1999	US 6087247 A EP 1051742 A	11-07-2000 15-11-2000

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**